スキージャンプの科学と戦術

渡部　和彦

1．はじめに

我が国のスキージャンプ陣は長野オリンピックの好成績で国民に大きな感動を与えた．この好成績の陰には何があったのだろう．さまざまな要因の中に言うまでもなく，まず選手の絶えまざる練習があったことは間違いのないところである．しかし，最近のスポーツトレーニングには，従来とは違った側面があることを忘れてはいけない．それは，選手の競技力を支える支援システムの登場である．スポーツ科学はその1つであり，その活用方法が大切である．

スキージャンプにおける科学的研究の一例を挙げると，それはいわゆる「V字ジャンプ」の研究である．これは最初は実験室的な研究として行われたが，実際の競技場面でのフィールド実験の研究も行われ，基礎的研究と応用的研究の両面から進められている．スポーツ科学の支援なくしては，レベルの高い競技会での勝利を手にすることが難しい状況となっている．

「V字ジャンプ」が実験的にその利点が示されたのは，1992年のアルベールビル冬季オリンピック（フランス）の直前であった．その当時，科学的根拠が示されたにもかかわらず，まだなじみの少なかった「V字ジャンプ」を取り入れなかった一部のトップ選手たちはこのオリンピックの直前でその読みの甘さに気づかざるを得なかったのである．2年後の1994年のオリンピック（アルベールビル）大会では，100％の選手が「V字ジャンプ」で競うことになり現在に至っている．

長野オリンピック大会当日，実際の競技場面での動作解析実験が行われた．これは，一流選手の技を科学的に分析し，より優れた技術を開発することと，選手の安全な競技環境を確保すること，さらには，一流選手の技を後世に資料として残すこと等を目的として，IOC（国際オリンピック委員会）が行ったものである．

本稿では，最近のジャンプ競技を取り巻くスポーツ科学のトピックスを示しながら，我が国におけるスポーツ科学の一般的な状況について理解を深めて戴ければ幸いと考える．

2．「低いジャンプ」でなぜ勝てる：船木選手の戦術

このたびの長野オリンピックの直前に，「高いジャンプ」と「低いジャンプ」がジャンプ関係者の間で話題となった．それは原田雅彦選手に代表される高い飛行曲線を描いて飛ぶジャンプと，船木和喜選手に代表される低い飛行曲線を描いて飛ぶジャンプのことである．陸上のマラソン競技では歩幅を狭くしピッチで稼いで走る，ピッチ走法と歩幅を広くして走るストライド走法とがあり，それぞれに一長一短がある．どちらがよいのかは選手の体力や形態などの特性によるであろう．スキージャンプ界で最近示された明らかな戦術の違いがこの「高いジャンプ」と「低いジャンプ」である．

一般に，スキージャンプはこれまで，高く大きなアーチを描いて飛ぶことが理想とされてきた．この理屈は分かりやすく，おそらく基本的に正しいはずである．多くのジャンプ選手たちは，まさにこのためにジャンプ力を高めるための跳躍トレーニングを熱心に行うのである．しかし，最近になって事情は変わってきた．低くジャンプし，飛行曲線を低い状態で飛びながらしかも飛距離を延ばす選手が現われたのである．その代表が，長野オリンピックノーマルヒルで銀メダル，ラージヒルで金メダルそしてジャンプ団体で精神的重圧に耐えながらも，アンカーとして見事なジャンプで日本に金メダルをもたらした船木選手である．

原田選手のジャンプはどうであろう．力強い踏み切り（サッツ）動作から空中に高く飛び出す．そして，見事なV字スタイルを決めて空中に大きなアーチを描きテレマーク姿勢を入れて着地する．彼のジャンプからはこのような豪快なイメージが描かれる．しかし実際はどうであろう．そこで，実際のジャンプ競技場で合宿練習中の2人のジャンプに着目して動作分析の実験を試みることにした．果たして，一部の人が言うよ

わたなべ　かずひこ　広島大学　教育学部運動生理学
〒739-0046　東広島市鏡山1－1－2

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

うに原田選手は高いジャンプで船木選手は低いジャンプなのであろうか．実験的資料はなかった．

調査はオリンピックのジャンプ会場の白馬のジャンプ台で行われた．分析の方法は選手の飛び出しから着地までを追跡できる位置にビデオカメラを設置し，動作解析を行った．その結果次のようなことが分かった．

1）ジャンプ台を飛び出す位置で比較すると原田選手は，船木選手よりもより高くジャンプしている．その結果，船木選手は，ジャンプ台を離れた約1秒後では，より低い位置にまで落ちていること．

2）船木選手は，ジャンプ台を飛び出すと直ちにV字姿勢に移行し，そのタイミングは原田選手よりも明らかに速いこと．

3）船木選手はV字姿勢が完了し安定する時期が早くしかもその期間が長いこと．

動作解析によってこれらの特徴が明らかとなった．すなわち，原田選手は高いジャンプであり船木選手は低いジャンプであることが実証されたのである．

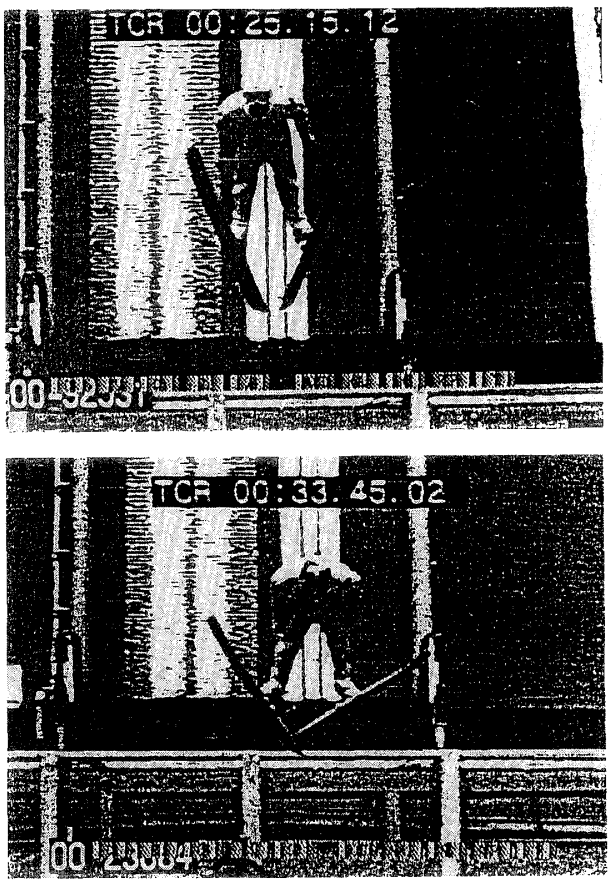

図1　原田選手(上)と船木選手(下)とのサッツ（踏み切り動作）直後の姿勢と空中での位置の比較（サッツ直後1.2秒後）．原田選手は，スキーのV字がまだ完了していないこと．船木選手はV字フォームと上肢の位置の体幹部への密着が完了していることに注目（場所：白馬ジャンプ競技場）．

そこで興味のあることは，なぜ船木選手は低くジャンプするのかということであり，しかもなぜ遠くまで飛ぶことができるのかということである．その問いに答える前に，V字ジャンプがなぜ遠くまで飛べるかを説明する必要があろう．

3．「V字ジャンプ」はなぜ遠くまで飛べるか：風洞実験での証明

最近では主流になったV字ジャンプであるが，最初にこのジャンプを行った選手は，スウェーデンのヤン・ボークレブ（1988）であると言われるが，それは彼の失敗ジャンプから偶然に見いだされたといわれる．彼にとっては何らかの手ごたえが感じられたのであろう．我が国では，1990年のワールドカップ札幌大会（1990）で，旧東ドイツのキーゼベッター選手がこのV字ジャンプで優勝してから日本国内でも関心がもたれた．しかしながら，科学的な根拠がなかったことと，このフォームでは減点対象とされ，それは距離に換算すると，4メートル以上に相当することなどからこのフォームに転向しようとする選手はいなかった．そこで，筆者らは，いち早くこの問題に決着をつけるべく実験に取り掛かることにした．その理由は，1992年のアルベールビルオリンピック大会までに何とか間に合わせたいと考えたからである．

実験方法には風洞実験装置を使うことにした．実物大のスキージャンプ選手の模型を使い，実物のヘルメット，ワンピース，手袋などすべてを装着させて実験の準備をした．風洞実験は東京大学先端科学技術センターの円形噴流の3m風洞実験室を用いた．測定項目は揚力（進行方向に対して物体を垂直に持ち上げる作用として働く力），抗力（いわゆる空気抵抗のことで，進行方向に対して正面から受ける力），ピッチングモーメント（物体を進行方向に対して回転させるように働く力）の3分力を測定した．気流速度は実際に近い条件にするために毎秒25mで行った．気流に対するスキーの位置を迎角（むかえかく）と言うが，この条件を，0°から5°ごとに40°まで行った．すなわち，ジャンプ選手の空中での様々な姿勢条件を想定して，それぞれの条件での値を測定するのである．その中で，一般に抗力（空気抵抗）の値が小さく，揚力の値が大きい姿勢の条件を見つけて行くのである．当然，姿勢の違いとしては，迎角ばかりではなく，スキーと体幹部との角度や，スキーの開き角度（V字角度）等の条件を小刻みに変えて実験を繰り返すのである．

この結果，両方のスキーの角度すなわち，V字姿勢

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

で大きな揚力と小さい抗力が得られる最適条件の値（揚抗比という）を見つけることができたのである．それは，約38°のときであった．しかも，その角度でスキー板を体幹部に引き付けるとさらに良いことが見いだされたのである．V字の角度を大きくし過ぎるとかえってよくないことも分かった．このような条件を踏まえて，スキージャンプの運動方程式に入れて飛距離を推定すると，条件によっては，これまでよりも約10m近くも飛距離を延ばせることも示された．ピッチングモーメントの値からも，ジャンパーの空中姿勢の安定を確保できることが示された．

このような実験結果を，全日本スキージャンプ選手とノルディック複合の選手，コーチに伝えるべく，札幌で結果の報告会を行った．アルベールビルオリンピックの前年のシーズン前になんとか間に合うことができた．結果的には，約30パーセントの選手がこの技術をある程度までマスターし大会に挑んだ．日本選手はジャンプで個人，団体共に4位という成績で，永かった低迷を脱する兆しが見えた．ノルディック複合では見事，金メダルを獲得した．

このようなV字ジャンプの効果は，スキー板をジャンパーの両サイドに大きく開くことによっていわば鳥が翼を開くような効果を生み出し，揚力を高めたことによるものである．またその結果，頭上げモーメント（空中で上体が引き起こされる作用）が生じ，その克服のためにより前傾姿勢を深める結果となり，相乗効果による揚力の一層の増大を生み出したと考えられる．

現在では，100パーセントの選手がV字姿勢を行い，空中姿勢の減点の対象とはならない．V字ジャンプは美しいフォームという認識に変わった．しかも，より効果的なV字姿勢が求められている．

4．長野オリンピックでの検証：タイミング優先理論

「低いジャンプ」でなぜ勝てるかを考えると，それはいち早く理想的なV字を決めるために，いわば高い跳躍を犠牲にして踏み切りを行っていると考えられる．前述のように，原田選手と比較すると船木選手は踏切の後，早く落下するのであるが結果的には，空中での揚力を得て飛距離に貢献しているのである．これは，船木選手の戦術である．筆者は，このようなジャンプの仕方の違いを，「タイミング優先型」と「パワー優先型」のジャンプと名づけた．

原田選手と船木選手との体力的な特徴を比較してみよう．興味あると思われることは，身長は共に173cmであり体重は，原田選手55kg，船木選手63kgである．最大の跳躍力すなわち，垂直飛びでは，それぞれ98.8cm，86.2cmである．原田選手の方が跳躍力により優れていることが分かる．しかも，白馬のノーマルヒルを飛ぶことをイメージしてジャンプ力を測定すると，原田選手は最大の約70%，船木選手は最大の約60%の値を示した．このように原田選手は，優れた跳躍力を生かして高いジャンプすなわち，パワー型のジャンプを行っているのである．船木選手は，タイミングを優先していち早く理想的な空中姿勢を確保する飛び方をしているのである．前述のように，彼の場合は結果として低いジャンプとなるのである．ともあれ両選手共に，それぞれの持ち味が発揮され，共に好成績につながったと理解できよう．

このような跳躍の特徴は，あの長野オリンピックでも発揮されたのであろうか．我々は，長野オリンピックの白馬の競技場でそれを検証することを試みた．すなわち，複数のカメラを用いて3次元的に空中動作を解析するものである．オリンピック大会の会場にカメラを持ち込むことは通常ではできないことであるが，IOC（国際オリンピック委員会）の医事委員会の研究プロジェクトとして特別に行うことができた．解析の途中ではあるが，原田選手と船木選手に限って比較すると，2人の特徴はこれまで述べたと同様の傾向を示していることが認められた．今後，このような典型的な飛び方は他の選手にどのような影響を与えるであろうか．注目して見てゆきたい．

さて筆者は以前に基礎的な実験として，小球を自由落下させ，それが地面に着地するその時点に合わせてジャンプすることを一流ジャンプ選手に求め，床面から足が離れる時点からの時間差を検証したことがある（選手の人数は24名）．その結果，小球の着地に合わせてジャンプするという条件のタイミングを優先する場合の最大跳躍パワーは，約59%にまで落ちるという結果を得た．このことから言えることはタイミング優先型のジャンプの利点は当たり外れの少ない安定したジャンプを行うことができるが，結果的に跳躍力を犠牲にすることになるのでトレーニングによって跳躍力そのものを十分に確保する必要があることを指摘した．

5．現場でのスキージャンプ力の解析

カルガリーオリンピック大会(1988)当時，IOCの研究プロジェクトとして，スキーのジャンプ台を跳躍するときの力を実際に測ろうとする試みがなされた．このときは，計測するための圧力板(フォースプレート)が

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

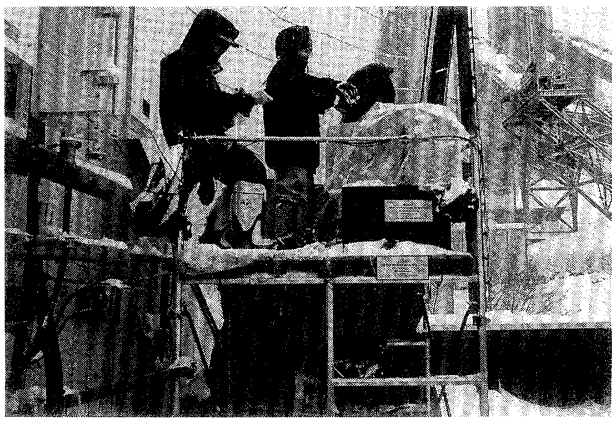

図2　長野オリンピック大会における，実際の競技場面におけるサッツ，空中，着地局面の動作分析撮影スタッフの実験風景（場所：白馬ジャンプ競技場）．

雪の下に覆われ，正確な測定ができなかったようである．長野オリンピックを前に，幸いにして夏の時期にこのような測定が可能な装置が設置された．長さ10mの圧力板を白馬のノーマルヒルのジャンプ台の部分に埋設した．この装置を用いることによってどこで最大の力を出しているかや，タイミングの遅れ等も合わせて解析できると期待された．ただ，実験室で測定する場合とは違って，スキー板の振動などを拾ってデータはフィルタをかけるなどして修正しなければならない．しかしそれでも一流選手の実際の競技場面の貴重な資料を得ることができた（最近は夏でも滑ることができ，サマージャンプ大会が開催される．スタートからジャンプ台の先端に至る滑走面はセラミックを使用しており，摩擦は雪の条件と変わらないほどである）．

この装置による原田選手と船木選手のジャンプの特徴は出るのであろうか．原田選手の場合には，他の選手と比較しても強い蹴りだしが特徴として認められた．船木選手においては現在のところ公表の段階ではないが蹴りだし局面の直前に特徴的な力の波形が認められている．今後の研究上の興味ある課題となるであろう．

6．スポーツ科学の将来：総合的な研究のシステムの構築

スキーに限らず，様々なスポーツにおいて科学研究が行われている．そのための学問領域としては，例えば運動生理学，バイオメカニクス，スポーツ心理学，コーチ学，スポーツ医学等が関係する．自然科学のみならず人文・社会科学に関する学問領域の関与の必要性もある．例えば，スポーツ社会学，スポーツ情報学，スポーツ経営・管理学，スポーツ行・財政学，スポーツ倫理学等の必要性も出てきている．

現代ではスポーツが社会に広く浸透し，多様な社会的階層を巻き込み多様な価値観の中で展開されている．学問的にしっかりとした基礎を持つ研究システムの構築が必要とされるが，現在のところ必ずしも十分とは言えない．

我が国ではようやく国立のスポーツ科学研究所の設立の見通しがたち，2001年の完成を待つという段階である．これは，自然科学に関する実験研究と情報活用の研究が中心である．今後このような研究機関への支援が期待される．

競技力向上の目的のためには，本稿で紹介したV字ジャンプの開発という，バイオメカニクスに関する直接的に効果を確かめる研究も必要ではあるが，前述のような幅広い研究対象を含めた活動が必要であろう．

7．まとめ

スキージャンプ種目のオリンピック選手の競技力向上のためのスポーツ科学，特にバイオメカニクスの研究を中心に紹介した．競技力向上という観点からは実験的研究が主流であり今後もこの傾向は続くであろう．これからは基礎的・応用的研究を含め，種目間共通のすなわち，一般化をねらいとする研究開発と平行して，特定のスポーツ種目の競技力の向上やその種目に関係のある対象への活用に関心が向けられるであろう．

筆者はこのような科学研究の傾向の中で，実験科学のみならず，社会・人文科学の展開の必要性を考える．オリンピックをはじめワールドカップなどスポーツイベントやそれに伴うマーケティングは世界的な拡がりを持ち，複雑化多様化の様相を深めている．新しい価値の発掘が期待される一方，いろいろな問題も多い．

競技力向上という観点ばかりでなく，いまやスポーツは総合的な視点から新しい研究のアプローチが求められている．

参考文献

[1] 渡部和彦：ジャンプ競技から：サッツの動作分析，体育の科学，33(12)：884-889，1983.

[2] 渡部和彦：「V字飛行」における上肢の構えの違いが飛距離に及ぼす影響：上肢を前方に伸展する効果について，平成5年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告17，29－32，1993.

[3] 渡部和彦：スキージャンプにおける「技」と「力」，体育の科学，48(7)，538-541，1998.

[4] 渡部和彦：IOC長野オリンピックバイオメカニクス研究プロジェクト報告，バイオメカニクス研究，2(4)，253-256，1998.

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．